



INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(51) International Patent Classification⁶:H02N 1/00, F04B 43/04, F15C 5/00,
H01H 59/00

A1

(11) International Publication Number:

WO 97/29538

(43) International Publication Date:

14 August 1997 (14.08.97)

(21) International Application Number: PCT/EP97/00575

(22) International Filing Date: 10 February 1997 (10.02.97)

(30) Priority Data:

196 04 818.4	10 February 1996 (10.02.96)	DE
96101948.6	10 February 1996 (10.02.96)	EP
(34) Countries for which the regional or international application was filed: DE et al.		
196 37 928.8	17 September 1996 (17.09.96)	DE

(71) Applicant (for all designated States except US):
FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG
DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE];
Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).

(72) Inventors; and

(75) Inventors/Applicants (for US only): QUENZER, Hans,
Joachim [DE/DE]; Celsiusstrasse 4, D-12207 Berlin (DE).
WAGNER, Bernd [DE/DE]; Hohe Strasse 1, D-25582
Looft (DE).

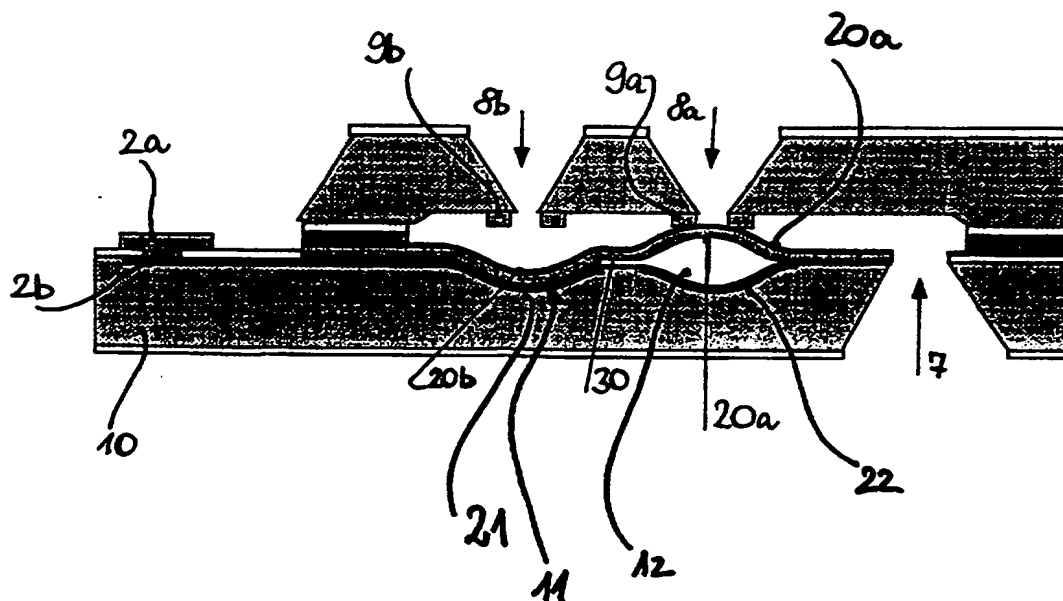
(74) Agent: LEONHARD, Reimund; Leonhard Olgemöller Fricke,
Josephspitalstrasse 7, D-80331 München (DE).

(81) Designated States: DE, JP, US, European patent (AT, BE, CH,
DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
SE).

Published

With international search report.
Before the expiration of the time limit for amending the
claims and to be republished in the event of the receipt of
amendments.

(54) Title: BISTABLE MICROACTUATOR WITH COUPLED MEMBRANES



(57) Abstract

The invention concerns a bistable electrostatic actuator with pneumatic or liquid coupling. The electrostatic membrane actuator has enclosed metallic electrodes (21, 22; 23). It can be used for a microvalve or a micropump. Said actuator having buckled membrane sections (20a, 20b, 20x) in pairs and curved substrate electrodes (21, 22, 23), locally associated with said membrane sections (20a, 20b).

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2001-502247

(P2001-502247A)

(43) 公表日 平成13年2月20日 (2001.2.20)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	メモード (参考)
B 8 1 B 3/00		B 8 1 B 3/00	
B 8 1 C 1/00		B 8 1 C 1/00	
F 0 4 B 43/04		F 0 4 B 43/04	Z
F 1 5 C 3/04		F 1 5 C 3/04	
H 0 1 H 59/00		H 0 1 H 59/00	

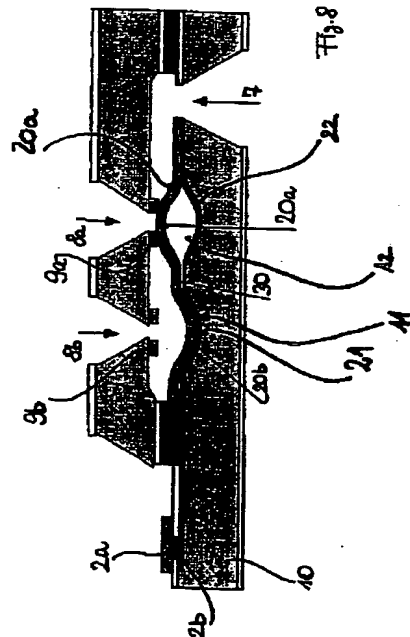
審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 34 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願平9-528164	(71) 出願人	フラウンホーファー・ゲゼルシャフト、ツール、フェルデルング、デア、アングヴァンテン、フォルシュング、アインゲトラゲネル、フェライン
(86) (22) 出願日	平成9年2月10日 (1997.2.10)		ドイツ国、D-80636、ミュンヘン、レオンロトシュトラッセ、54
(85) 翻訳文提出日	平成10年8月7日 (1998.8.7)	(72) 発明者	クヴェンツァー、ハンス、ヨーアヒム
(86) 国際出願番号	PCT/EP 97/00575		ドイツ国、D-12207、ベルリン、ツェルズィウスシュトラッセ、4
(87) 国際公開番号	WO 97/29538	(72) 発明者	ヴァーグナー、ペルト
(87) 国際公開日	平成9年8月14日 (1997.8.14)		ドイツ国、D-25582、ローフト、ホーエ、シュトラッセ、1
(31) 優先権主張番号	19604818.4	(74) 代理人	弁理士 田代 蒸治 (外1名)
(32) 優先日	平成8年2月10日 (1996.2.10)		最終頁に続く
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		
(31) 優先権主張番号	96101948.6		
(32) 優先日	平成8年2月10日 (1996.2.10)		
(33) 優先権主張国	ヨーロッパ特許庁 (EP)		

(54) 【発明の名称】 膜連結による双安定マイクロアクチュエータ

(57) 【要約】

本発明は、空気のまたは液体により連結された双安定静電アクチュエータに関する。静電膜アクチュエータは、密閉型金属電極 (21、22、23) を有する。これはマイクロバルブまたはマイクロポンプに用いられる。対を成す湾曲膜部分 (20a、20b、20x) と、この膜部分 (20a、20b) と部分的に協同する湾曲する基板電極 (21、22、23) を有する。



【特許請求の範囲】

1. 対を成した湾曲膜部分（20a、20b、20x）と、該膜部分（20a、20b）と局部的に協同する湾曲基板電極（21、22、23）と、を有することを特徴とする、マイクロバルブまたはマイクロポンプ用の密封型金属電極（21、22、23）を具備する静電膜アクチュエータ。
2. 前記アクチュエータが、反対方向に湾曲し、前記膜部分上の少なくとも1層の薄膜の効果としての固有圧縮応力を有する2箇所の膜部分（20a、20b）を有し、これにより上下に湾曲し、前記2箇所の膜部分の間に2点の安定な操作点を有することを特徴とする請求項1に記載のアクチュエータ。
3. 前記2箇所の膜部分（20a、20b）が連結され（30）、静電的に引きつけられていないアクチュエータの第二の膜部分を静電的に引きつけられた第一の膜部分と反対の方向に動かすことを特徴とする、請求項1または2に記載のアクチュエータ。
4. 前記膜部分がそれぞれ金属層を有し、フリップーフロップ方式による反作用により動作可能であることを特徴とする、請求項1-3のいずれかに記載のアクチュエータ。
5. 基板（10）上で膜（20）の湾曲部分（20a、20b）の外側の平坦部分（20c、20d）が引きつけられ、前記基板（10）が、前記膜（20）の湾曲部分（20a、20b）の形状に厳密に適合した2個以上のディンプルまたは浅いキャビティ（11、12）を有することを特徴とする、請求項1-4のいずれかに記載のアクチュエータチップ（100）。
6. 前記基板（10）と協同する浅いディンプルまたはキャビティ（11、12）が、連結チャネル（30）により結合され、静電気力により一方の膜部分

（12）が引きつけられると、流体が前記ディンプルまたはキャビティ（11、12）の一方から他方へ移動し、他方の膜部分（20a）を他方のディンプルの外側に誘引することを特徴とする、請求項1-5のいずれかに記載のアクチュエータ。

7. 前記チャネル（30）が前記基板（10）内に配置され、湾曲膜部分（2

0 a、20 b) の間の膜 (20) 領域により被覆されていることを特徴とする、請求項 1-6 のいずれかに記載のアクチュエータ。

8. 前記ディンプルまたはキャビティに組み込まれ、その形状に厳密に適合された、各膜部分用の別々の電極を有することを特徴とする、請求項 1-7 のいずれかに記載のアクチュエータ。

9. 多数の対を成す膜部分が配列されることによりポンプラインが形成され、膜の各対における 2 箇所の隣接するディンプルが常に、圧縮空気により、またはディンプル連結チャネルを通過する流体により連結されていることを特徴とする、請求項 1-8 のいずれかに記載のアクチュエータ。

10. 電気伝導的な接点部分 (28 a、28 b) を、好ましくは一方または双方の湾曲膜部分 (20 a、20 b) の中央部分に有し、これがディンプルまたはキャビティ (11、12) の反対側に配置された電気伝導的弁座 (9 a、9 b) と協同するように成されていることを特徴とする、請求項 1-9 のいずれかに記載のアクチュエータ。

11. 電氣的力により一方の膜 (20) のみを稼働させ、第一の膜 (20 a) の下部から第二の膜 (20 b) の下部へのチャネルを通過する流体流により他方の膜 (20 b) を動作させることにより、反作用的に 2 個の静電的に偏向可能な湾曲膜 (20 a、20 b) を操作する方法。

12. 前記流体が空気、気体または液体であることを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

13. 第一の基板 (63) を有し、かつ応力を受けない平坦な担体が、一方面に絶縁体 (60) の薄膜を有して担体に固有応力を施し、

前記平坦担体が第二の基板 (10) に向かう下側で第二の基板 (10) と結合され、

固有応力付与絶縁層 (60) が膜部分 (20 a、20 b) の一方または双方を湾曲するまでに前記担体の少なくとも第一の基板 (63) が除去されることを特徴とする、少なくとも 2 箇所の対向して湾曲する膜部分 (20、20 b) を有する、請求項 1-10 のいずれかのアクチュエータ用、または請求項 11 もしくは

12に記載の方法に用いられる膜(20)の製造法。

14. トップダウン連結ウェーハの第一の基板の除去が、二層の半導体層(61、63)の間に中間層として形成される更なる絶縁層(62)により停止され、この停止層(62)を部分的に除去した後に、該層を金属蒸着し、前記第一の基板(10)のディンプル(11、12)中に埋設された第一の湾曲電極(21、22)の反対側の膜中または膜上に第二の電極を形成することを特徴とする、請求項13に記載の方法。

15. 前記2箇所の対向して湾曲する膜部分(20a、20b)が対向して安定であり、相互に間隔を有して配置されるが、近接していることを特徴とする、請求項1に記載のアクチュエータに用いられる、または請求項13による製造法により得られた製品としての2個の反対側に湾曲する部分(20a、20b)を有する薄膜(20、20a、20b)。

【発明の詳細な説明】

膜連結による双安定マイクロアクチュエータ

本発明は、空気または液体連結による双安定マイクロアクチュエータに関する。

動力と安全の観点から、機械的に双安定なアクチュエータが非常に重要視されている。しかしながら、これまではシリコン技術により製造された数種類の双安定マイクロアクチュエータが報告されているに過ぎない^{1, 2, 3)}。低消費電力の理由により、静電気駆動装置は電磁アクチュエータや熱機械アクチュエータよりも好まれる傾向にある。静電装置の短所は、そのレンジの低さにあり、大きな偏向を得るためには大電圧が必要とされる。非平面駆動電極を製造するための様々な構想が発表されている^{4, 5, 6, 7)}が、これらの技術はかなり特殊であり、一般的目的には使用されない。この他の従来技術では、環境に対して開放された粒子等の電極が用いられるために問題を含む。この従来技術は、気体または液体の媒体から分離された密閉電極が形成されることにより改良される。

-
- 1 B. Hälg, On a micro-electro-mechanical nonvolatile memory cell, IEEE Trans. Electron. Dev. 37 (1990) 2230-2238
 - 2 H. Metoba, T. Ishikawa, C.-J. Kim, R.S. Muller, A bistable snapping microactuator, Proc. MEMS 94, Oslo, 45-50
 - 3 M. A. Huff, A.D. Nikolich, M.A. Schmidt, A threshold pressure switch utilizing plastic deformation of silicon, Proc. Transducers 91, San Francisco, 177-180
 - 4 J. Branebjerg, P. Gravesen, A new electrostatic actuator providing improved stroke length and force, Proc. MEMS 92, 8-11
 - 5 A. Bertz, T. Werner, The formation of very flat silicon sidewalls by dry etching, J. Micromech. Microeng. 4 (1994) 23-27
 - 6 M. Shikida, K. Sato, T. Harada, Fabrication of an electrostatic microactuator with an S-shaped film, Proc. Transducers 95 & Eurosensors IX, Stockholm, 426-429
 - 7 P. Rangsten, L. Smith, L. Rosengren, B. Hök, Electro-statically excited diaphragm driven as loudspeaker, Proc. Transducers 95 & Eurosensors IX, Stockholm, 430-433
 - 4 脚注 4 参照

本発明は、各請求項に開示されたとおりのものであり、アクチュエータを一般的目的に好ましく使用可能とするために、偏向電圧を低下させることを目的としている。

本発明においては、2個の湾曲した膜が、密閉駆動電極を有する、接続された

キャビティに掛け渡されている（請求項１、１３）。これらの膜は、一方の膜部分が静電的に引き下げられた場合に他方の膜部分が引き上げられるといった相反する作用により駆動する。

連結は空気（圧縮空気）または液体により行われる（請求項１２）。

アクチュエータモジュールは、±１０μmの偏向可能に設計され、流体の流動を調整するマイクロバルブに統合して設けられる。複雑なアクチュエータモジュールでは、静電駆動の原理が、バルブにおける適用ではオン／オフ・バルブまたはマルチ・ウェイバルブ等として、スイッチにおける適用ではオン／オフ・スイッチまたは切り替えスイッチ等として、或いはマイクロポンプに使用されている。グレイトーン・リソグラフィを用いて、湾曲したキャビティ底部に湾曲した駆動電極を得ることもできる。この様に、駆動電圧は平坦な電極に対比して５倍まで低下可能である。湾曲したキャビティ底部（ディンプル）では、密閉された空気または液体の容量が最小限とされるために、圧縮空気または液体による連結が改善される。

マイクロバルブに適用される密閉電極を有する双安定静電気アクチュエータの設計と技術において、グレイトーン・リソグラフィ、すなわち任意のリリーフ型表面を形成する方法を用いることにより電極の湾曲形が得られる。基板から離れた膜偏向を得るために、MEMS 92、Travemuendeの提案⁸⁾に多少のヒントを得て、二個のキャビティの圧縮空気連結が用いられている。

膜の二個の湾曲部分是对向的に安定であり（請求項１５）同一のウェーハ中で相互を密閉しあっている。

8 K.J. Gabriel, O. Tabata, K. Shimaoka, S. Sugiyama, H. Fujita, Surface-normal electrostatic/pneumatic actuator, Proc. MEMS 92, Travemuende, 128-132

以下に添付の図面を参照しつつ、実施例を説明する。

図１は、二個の湾曲膜部分２０a、２０bを有する膜２０による双安定マイクロバルブの略断面図である。

図１aは、湾曲膜部分２０a、２０bを有する膜２０の、大幅に拡大した上面全体図である。

図1 bは、湾曲膜の施された、図1における湾曲膜部分20 a、20 bおよびディンプル11、12を示す、単一の滑らかに湾曲した平坦なディンプルの側断面図である。

図1 cは、湾曲膜部分20 aの下部に平坦形状の電極21 fを有する比較例を示している。

図2は、図1の双安定マイクロバルブの分解組立図である。キャビティ11、12の間に連結チャネル30が設けられ、流出口8がチャネル30の背後に設けられている。

図2 aは、結合膜20を有し、上部に弁座チップ200を有する、図2のマイクロバルブの三構成部分が陽極結合された実施の形態を示す側面図である。

図3は、直径2 mm (点Aで示す)、3 mm (点Bで示す) の円盤状膜の湾曲の有限要素法計算結果を示す図である。膜は7 μ m厚のシリコンを含み、片面が酸化珪素で被覆されている。

図4は、膜20の双安定膜部分20 a、20 bのスナッピング法(snapping method)の相互作用静電的有限要素法計算結果を示す図である。各ステップに(1) . . . (5) の符号を付す。

図5は、シリコン中に、グレイトーン・リソグラフィーにより形成された窪み(ディンプル)を示す見通し図である。この実質的にコサイン二乗波形を示す輪郭は、協同する駆動電極を有するディンプル底部として最適の形状である。

図6 a～図6 hは、アクチュエータチップ100に結合膜20を施す製造例の実施の形態における工程(1)～(22)を示している。各製造工程を図中に示す。図6 a～6 hにおいて、それぞれ横断面図(右図)と上面図(左図)の双方を用いる。

図7 a～図7 cは、アクチュエータチップに逆さまに陽極結合されるべき、図

2 aに側断面図として示された、弁座200を得るための製造工程(1)～(11)から成る製造法の実施の形態を示す。簡単のために図6、7、2 aには膜20の湾曲を示さないが、略図としての図1、1 bおよび1 cにはこれを示す。

図8は、2個の流出口8 a、8 bと流入口7とを具備する3/2方向バルブを

示している。

図9は、膜部分20aの上部に接点を有する電子スイッチを示している。ここで一方の接点は、金属弁座9aが、膜部分20aの頂部に施された金属接点部分28aと協同して閉鎖状態を成している。第二の協同接点对9b、28bは膜部分20bと関連して設けられる。これにより、接点部分28a、28bを連結する金属構造に応じて切り替えスイッチとして作用する2個の接点A、Bが得られる。

図10および図11は、マイクロポンプへの適用を示している。膜20aにおける静電的引力がチャネル30を経て膜部分20bの析力に変換される。この様に、物理的には引きつける静電力を発生させるのみで、「反発する静電力」が得られる。膜部分20a、20bの下部の空間は、容量変化のない閉鎖キャビティ11、12、30を構成し、安定的に静止した、かつ動的な連結が得られる。

図1は湾曲膜を有するバルブの第一の実施例を示す略断面図である。

図2は双安定マイクロバルブの拡大図であり、図2aはその側面図である。図6および図7における製造工程により、図2aの実施の形態が得られる。

バルブ下部の作動チップ100は2個のシリコン膜20a、20bを有し、これらは固有圧縮応力により湾曲している。近接して配置された膜20a、20bの下部のキャビティ11、12には空気が充填され、チャネル30で連結されている。この様に膜同士は逆作用における稼働を行うために空気作用により連結されている。各膜部分20a、20bは、その下方に敷かれた駆動電極21、22を用いた静電気力により下方へ切り換える。これはマルチウェイ適用(3/2方向バルブ)における膜湾曲の同様の原理を示すための図8にも記載されている。

1枚の膜を下げるように切り換えを行うと、空気がチャネル30を通して押し込まれ、第二の膜を押し上げる。2個の連結膜を用いると、流体を通して電圧を付

与することなしに、バルブが双方に静電的に稼働可能とされるといった利点を得られる。アクチュエータは媒体と分離されている。連結膜の他の利点は、外圧の変化に対して反応を示さないことである。

電極21、22は外部把持部分20c、20dに向かってギャップが減少する

ように湾曲している。この様に、静電力が増大され、および／または切り替え電圧が減少可能となる。電極21、22はディンプルにインプラント（埋め込み）され、これにより金属製フィードスルーを使用しない膜形成のためのSi-Si結合法が行われる。圧縮空気による連結は湾曲したキャビティ底部11、12により改善される。密閉空気容量はできる限り少量とするのがよい。

下部チップ100において流出口7をエッチングし、流入口8を有する上部チップ200と弁座9aとを結合させることにより、マイクロバルブが完成する。これは図2aに示されている。弁座9aは、図9によるスイッチ用途に用いるために金属性としてもよい。

説明において同様の符号が用いられた場合、これらは同素子を示すものとする。

図1では、湾曲膜20a、20bが金属層を具備し、キャビティ11、12の底部の電極21、22と共働する。電極21、22および金属層はコンタクトバス2bを経て、図8または1に記載のバルブの近傍またはこれから隔たり施されたコンタクトパッド2aに至る。基板10は、図2aのアクチュエータと同一であり、図6a-6hにより製造される。弁座チップ9は、図2aの上部チップ200と同一であり、図7a-7cにより製造される。流入口7および流出口8は、膜20aのいずれかの近傍に、各流出入口7、8は弁座チップ200およびアクチュエータチップ100のいずれかに設置される。流入口と流出口の流動方向は逆であってもよい。弁座9aは、電極22が施されるキャビティ12の上方の湾曲部20aの反対側に設けられる。図1において、膜部分20aが直接弁座と共働するが、これとは異なり図9では膜部分と弁座との間にコンタクトパッドが設けられ、異なる用途に用いられる。

しかしながら、バルブ用途における双安定アクチュエータに焦点をあてた記載においても、図8-11に記載のように、ポンプおよびスイッチ適用（1/2バ

ルブまたは3/2バルブ）も可能である。

湾曲ビームおよび方形膜の理論に関して、Haelg、Soederkvist、Popescu等の論文^{1, 9, 10)}が発表されている。円盤状膜の場合、臨界

圧縮応力が次式

$$\sigma_{cr} = \frac{14,68}{R^2} \cdot \frac{E \cdot t^2}{12(1-\nu^2)}$$

により与えられる。式中、Rは半径、tは厚さ、Eおよびνは膜の弾性定数を示す（pepescu^{11）}参照）。σ_{cr}を上回る応力値σで、膜が湾曲する。良好な近似を用いると、膜の偏向はコサイン二乗形で示される。

$$d(r) = d_0 \cdot \cos^2 \frac{\pi \cdot r}{2 \cdot R}$$

中央偏向d₀はsqrt(σ/σ_{cr}-1)に正比例して増加する。

図1のバルブは、±10μmの中央膜偏向を有するように設計される。湾曲した膜を切り換える機械的力は、約1mNである。これにより、シリコン膜の厚さ7μmの形状が得られる。直径2mmないし3mmの膜の研究を行った。一方側において薄膜状のシリコン酸化物で被覆された、応力を受けない、単結晶シリコンの二重層として膜が製造される。熱的に成長したSiO₂に対する固有応力が約3・10⁸N/m²と測定されている。このような膜20の製造を工程ごとに、図6d、6e、工程(10)～(13)に示す。

- 9 J. Söderkvist, U. Lindberg, Characteristics of quasi buckling, Sensors and Materials, 6 (1994) 293-309
- 10 D.S. Popescu, T.S. Lammerink, M. Elwenspoek, Buckled membranes for microstructures, Proc. MEMS 94, Oiso, 188-192
- 11 S.P. Timoshenko, J.M. Gere, Theory of elastic stability, McGraw-Hill 1961, 389ページ以降

双安定膜20の電気機械的挙動は、ANSYSソフトウェアを用いた有限要素分析(FEA)により算出されている。図3、4では、7μm厚のシリコン膜についてのFEAの結果が得られている。限界値を越えて、偏向はSiO₂厚（一方側にシリコン酸化物を有する）の2乗の平方根として増加する。2mmの膜形成には585nmシリコン酸化物が、3mmの膜形成には240nmシリコン酸化物が用いられ、10μmに湾曲される。他のシミュレーションでは、SiO₂層の厚さを一定として、10μmの偏向を得た。計算結果の主なものを以下の表1に示す。

表1に、一方の側をシリコン酸化物により覆われた $7\mu\text{m}$ 厚のシリコン膜に関するFEA結果を示す。 $10\mu\text{m}$ の中央偏向を得るために SiO_2 の厚さを一定とした。

膜直径	[mm]	2.0	3.0
SiO_2 厚さ	[nm]	585	240
機械的スナッピング力	[mN]	1.35	0.6
U平板電極	[V]	245	105
U湾曲電極			
g分= $1.0\mu\text{m}$	[V]	88	38
U湾曲電極			
g分= $0.3\mu\text{m}$	[V]	47	22

膜をスナップするための機械的力は、それぞれ 1.35mN および 0.60mN であった。上記のように、静電的切り替え電圧は、下部駆動電極間の距離と、その形状に大きく依存する。図1bと1cに例を示す。図1cは、深さ $10\mu\text{m}$ のキャビティ底部上の平板電極を想定したものである。図1bにおける、主に、下方に湾曲した膜20a、20bにそれぞれ対応する、 \cos^2 形の湾曲電極21、22が記載されている。ここでも最大深さは $10\mu\text{m}$ である。把持部分で最小のエアギャップとすることが重要である。2個の値、 $1\mu\text{m}$ および $0.3\mu\text{m}$ がこのパラメータとして選択されている。稼働電圧の計算は、相互作用

用的静電機械的方法により行われる。図4は、上方の安定状態(1)から下方の安定位置(5)に移動する5段階の計算段階による膜偏向を示している。反対方向に湾曲する(スナッピングオーバー)場合、膜がサイン波状の中間状態を成す。この不安定形状は計算により求められない。更に切り換え電圧を表1に記載する。平板電極21fに比較して、 $1\mu\text{m}$ 最低ギャップg分を有するコサイン2乗電極21、22の電圧は36%までに低減する。g分 $0.3\mu\text{m}$ のギャップでは、平板電極値の約20%の電圧で十分である。

図6a-6h、図7a-7cおよび図2aの工程順序が、両面を研磨された $525\mu\text{m}$ 厚のn型ウェーハ10($5-15\Omega\text{cm}$)の、連結キャビティ11、

12のエッチングにより開始される。第一の完全製造工程には、湾曲底部電極（図1b参照）を有するキャビティ11、12を説明する工程は含まれておらず、後に行われた（優先権主張日後、実際の出願日以降）。等方性エッチング溶液（ $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH}=8:1:3$ ）とシリコン酸化物のマスクを使用してエッチングを行い、一定厚4.5 μm のキャビティを得た。

SiO_2 マスクを除去した後、ウェーハを再び酸化した（50nm）。次工程は、図6b、工程（4）に示される、2個の別個の基板電極21、22（硼素、70keV、 $1\cdot 10^{16}\text{cm}^{-2}$ ）の面積を劃定するインプランテーションである。6 μm 厚のレジストを用いたフォトリソグラフィは、良好なステップカバレッジを得るために用いられる。これにより2個のキャビティ間の連結チャネルの不都合なドーピングが回避される。 N_2/O_2 混合気体中における7時間にわたる1150℃ドライブイン方法により、硼素イオンが活性化され、キャビティの垂直壁面に均一なドーパント分布が得られる。これに次ぐ第二のインプランテーションにより（磷、70keV、 $1\cdot 10^{16}\text{cm}^{-2}$ ）によりn型基板に対する n^+ 接触面積が劃定される。このインプランテーションは、窒素雰囲気下における1000℃での1時間のアニーリングにより行われる（図6c、工程（7）および（8）参照）。

アクチュエータモジュールの膜は、図6d、6eにおける工程（10）－（13）に記載されているように、SOI（シリコン・オン・インスレータ）ウェーハのシリコンの結合により製造される。1 μm の中間層シリコン酸化物62

上に7 μm 厚のシリコン層63を有する市販のSOIウェーハが使用される。結合に先立ち、SOIウェーハを酸化し、380nmのシリコン酸化物60を成長させる。この層60は膜の湾曲に応答する。厚さは2mm、または3mmの膜に対する中間的な値とされる。高い結合力を得るために、結合されたウェーハ対は、窒素雰囲気下1000℃でアニールされ、次いで1000℃で酸化され、約500nm厚とされる。次工程（11）では、SOIウェーハの基板63を、25%水性TMAH中、90℃にて完全にエッチバックする。1 μm 厚の中間層 SiO_2 62がエッチ停止層として作用する。

停止作用を有する酸化物層62の厚さをドライエッチングにより約200nmに低減させる(工程(13)参照)。次いでリソグラフィーにより、膜部分20a、20bの下部に導入された基板電極へのアクセス部分を劃定する。RIEによる酸化物の開口後、シリコン膜を25%の水性TMAH中、90℃で部分的に除去する。埋め込み電極、基板および膜に対に対するコンタクトホールを工程(15)で劃定した後、工程(16)でウェーハをアルミニウムにより金属被覆する。この金属をウェットエッチングにより構造化する。最後に、膜上のSiO₂層を、ドライエッチングにより完全に除去する。

この製造法に関する第二の実施の形態でも、上記と同様の工程が用いられるが、全連続工程(1) - (22)を有する図6a - 6hに示された各工程とは異なる。

キャピティ底部のコサイン波型の曲率を得るための方法は、平行して別々に行われる。基本はラスタースクリーンされたフォトマスクを用いたグレイトーン・リソグラフィーであり、これにより任意に湾曲したレジスト形状が得られる¹²⁾。5:1の投影と、中程度の解像サイズのマスク画素(ピクセル)により、滑らかに湾曲したレジスト形状が得られる。このリソグラフィーでは、13μm厚のフォトレジストを用いる。次いでレジストの輪郭を、ドライエッチングにより

-
- 12 B. Wagner, H.J. Quenzer, W. Henke, W. Hoppe, W. Pilz, Microfabrication of complex surface topographies using grey-tone lithography, Sensors and Actuators A 46-47 (1995) 89-94

シリコン基板に移しとる。シリコンとレジストに対して、それぞれほぼ同様のエッチング速度を得るようにRIE法を最適化する。

膜部分20a、20bの空気連結は、まず受動テストモジュールにより確認された。チップは、それぞれ直径2mmの、2個の湾曲するSi/SiO₂膜を有する。これらにより、チャネル30で連結される2個の空気充填キャピティが被覆される。

図1aに、2mm膜と3mm膜とを連結する、完成した双安定アクチュエータモジュールを示す。比較的小型の膜は最大偏向6.0μmで上方に湾曲する。こ

の値は SiO_2 厚380nmの場合に得られる。比較的大型の膜は、下方に湾曲し、4.5 μm の深さのキャビティを有する底部に押しつけられる。

p-n絶縁での降伏電圧は220Vと観測されている。2mmの膜は50Vの電圧で引き下げられる。この電圧では3mm膜の上方への湾曲が得られるが、この湾曲は十分なものではない。すなわち膜が非対称型に湾曲してしまう。この理由は、キャビティ内部の圧力が大気圧未満であるためと予想される。これは、空气中で結合が行われたことに起因する。これに次ぐ高温処理で、酸素が失われ、内部圧力が低下する。3mm膜は15Vで下方への湾曲に切り換えられ、2mm膜を完全に上方に押し上げる。

図5に、稼働電極21、22としての、コサイン2乗型のディンブルの輪郭測定点を示す。

図8では、膜位置に応じた切り替え流用の2流路8a、8bが示されている。図示した状態では、流路8aが上方に湾曲した膜20aで閉鎖され、流路8bがアクチュエータ・チップ10内の流路7への流動連結用に開放されているか、或いはこれとは反対に流路7から流路8bに流通する。電極22への印加電圧は、膜部分20aを引きつけ、膜部分20a、20b間の流路30を介してディンブル12の流体流を連結し、膜部分20bを押し上げ、弁座9bを閉鎖する。これにより、流路8bが閉鎖され、流路7への流動連結用に流路8aが開放される。反対の切り替え動作も同様に行われる。

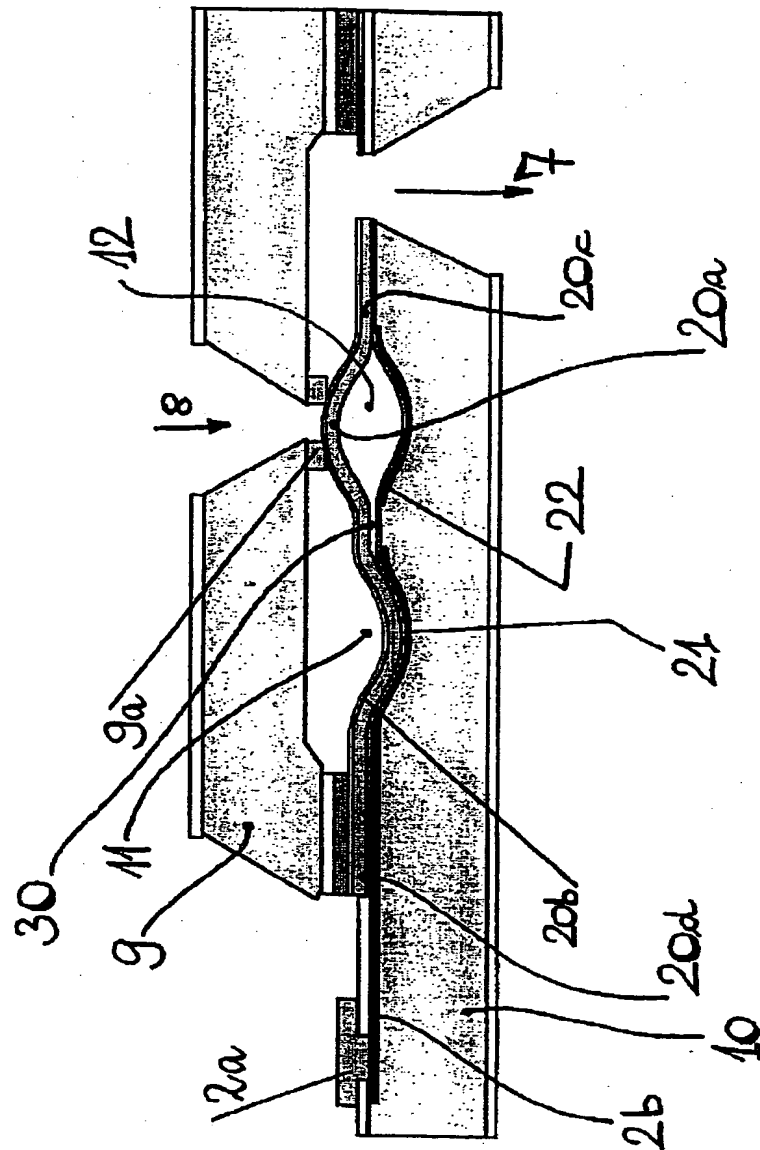
図9に関しては上述したが、この弁座チップ9は、通路、流入口、流出口のいずれも有さないが、膜部分20a、20b上のコンタクト・パッド28a、

28bと電気的接点連結を行う電気的コンタクト・パッド9a、9bを有している。電極22への印加電圧により電気的接点28a、9aが開き、電気的接点28b、9bが閉じる。これとは逆のスイッチ動作も容易に理解されよう。弁座チップ9上に電気的弁座9a、9bと協同する、コンタクトパス2bと同様の電気的コンタクトパスを設けることは自明である。

図10および図11はマイクロポンプを示している。図10では、ポンプの充填および放出用の逆止め弁80、81が用いられ、これが2個の平行するチャネ

ル間の、協同膜部分20a、20bと共に作動する。膜20a、20bのそれぞれの対はチャネル30により連結され、上昇している膜対の多様な状態が連続的に制御されポンプ動作とされる。画湾曲膜の中央部Cは（仮想的な線により連結された場合）ポンピング方向を劃定している。図11では膜20aの下方に湾曲した電極23を、膜20aの上方にポンプ室41を示した。

【図1】



【図1】

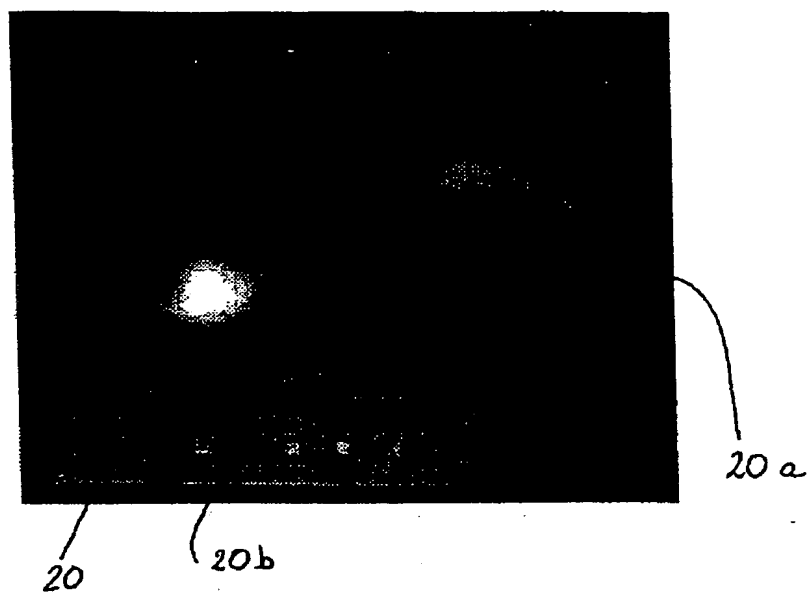


Fig 12

【図1】

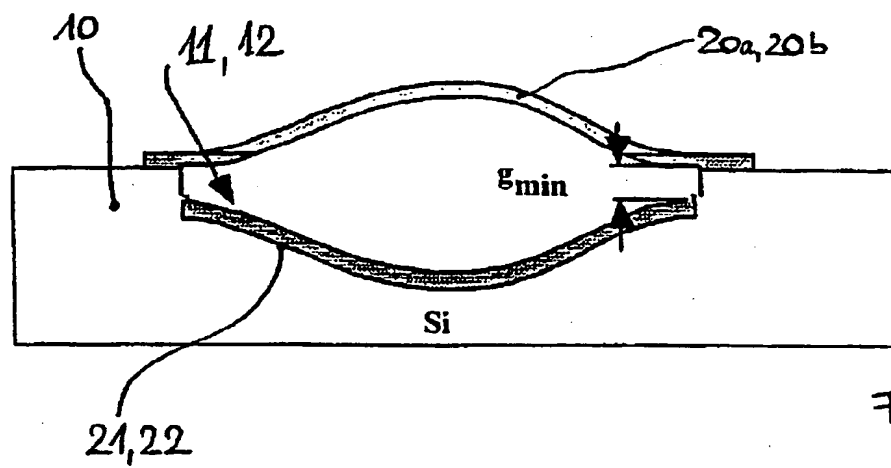


Fig. 1b

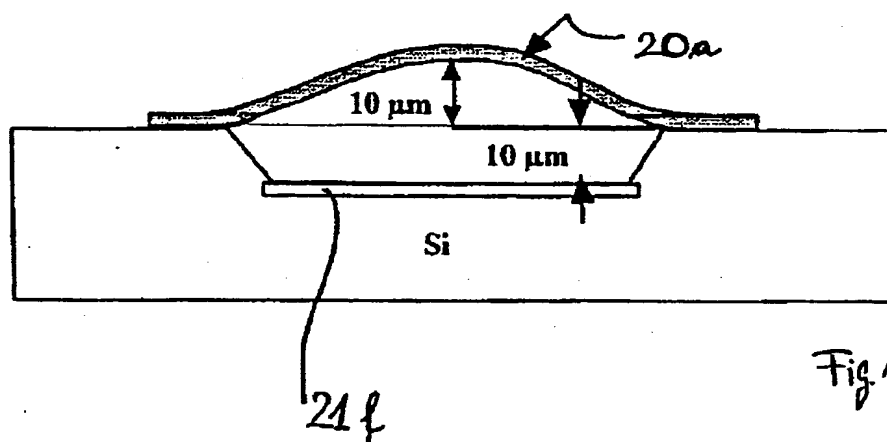
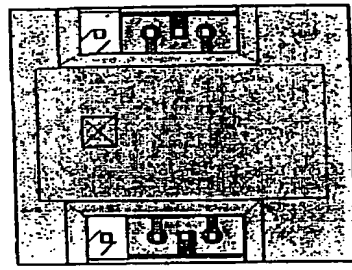
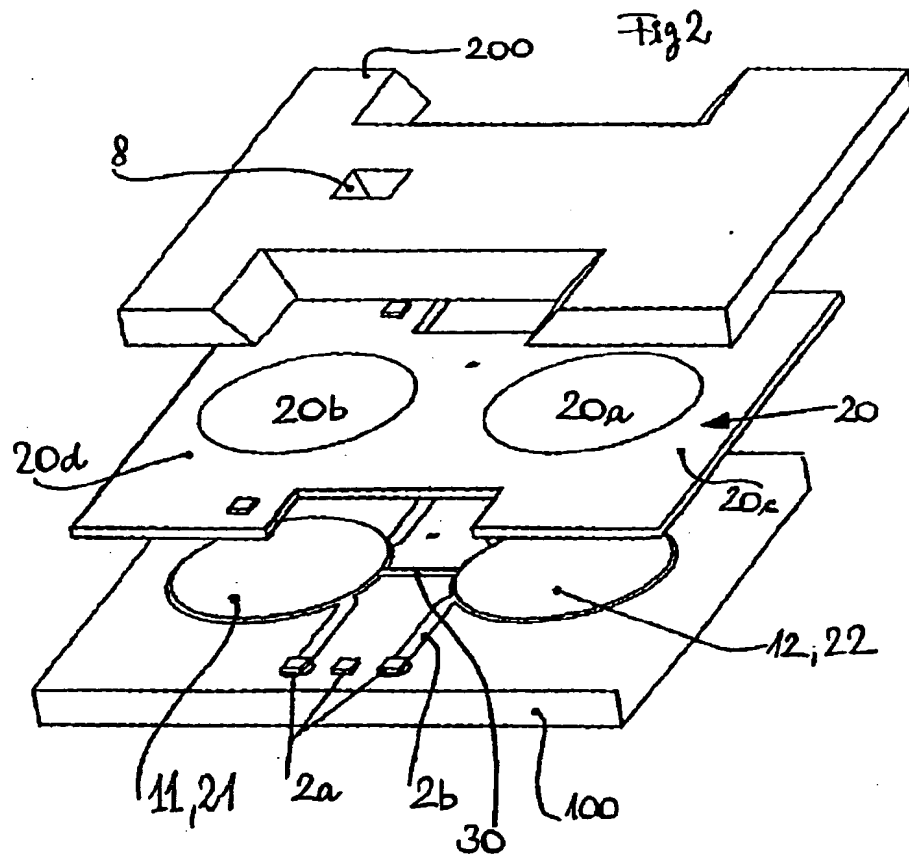
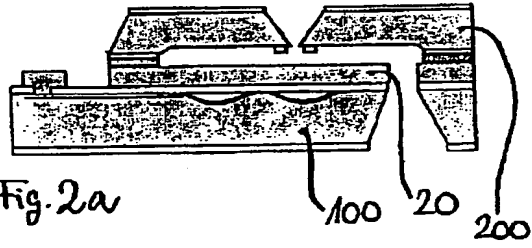


Fig. 1c

【図2】

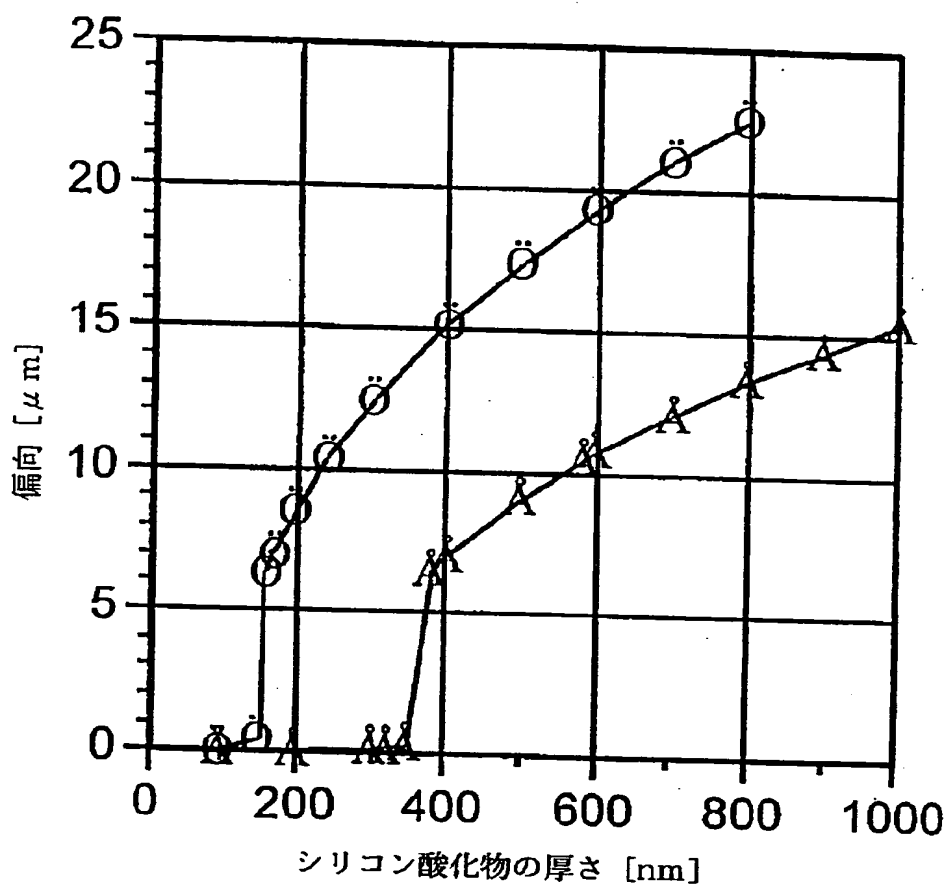


陽極結合

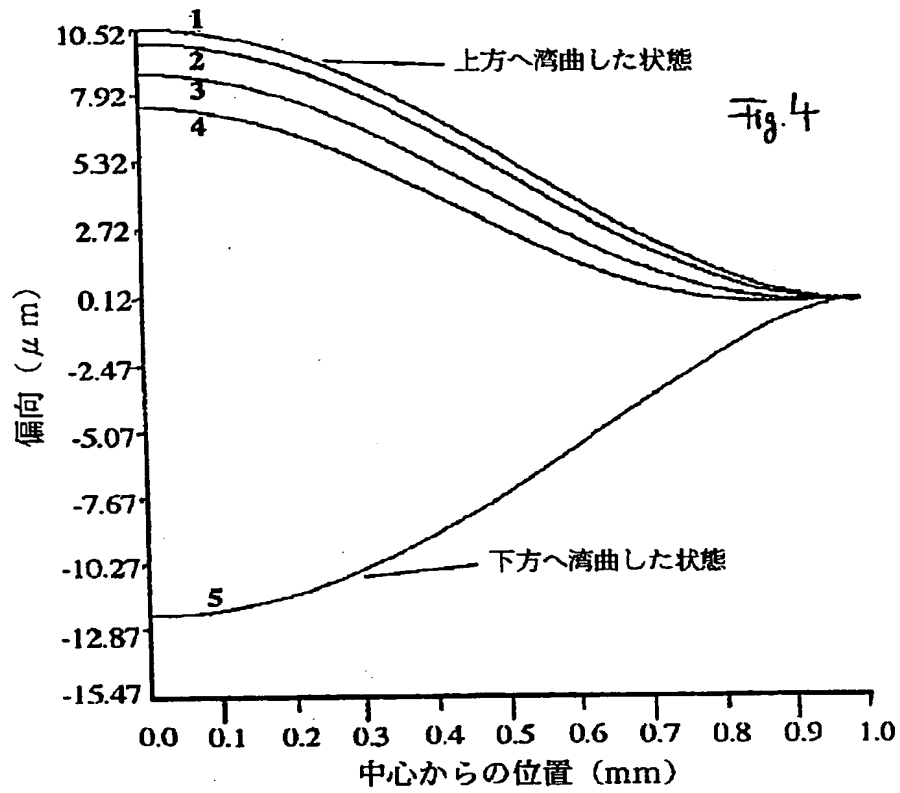


【図3】

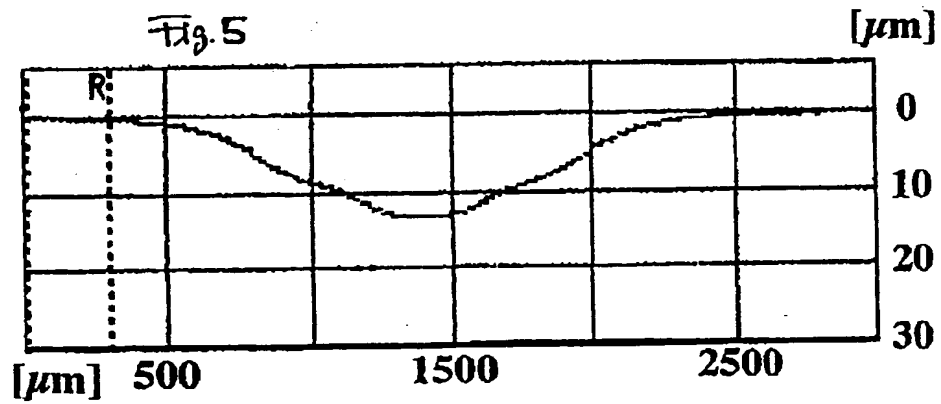
Fig. 3



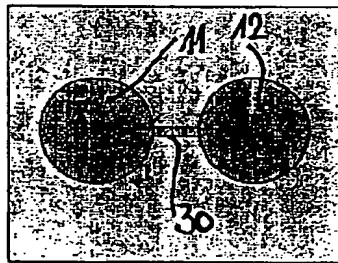
【図4】



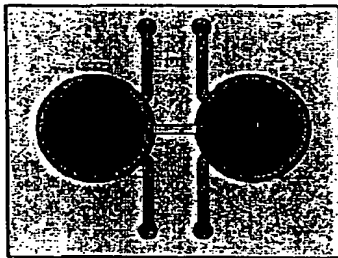
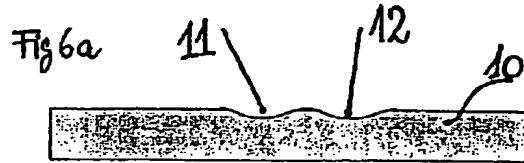
【図5】



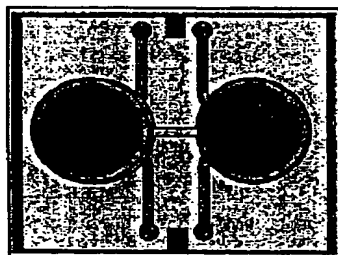
【図6】



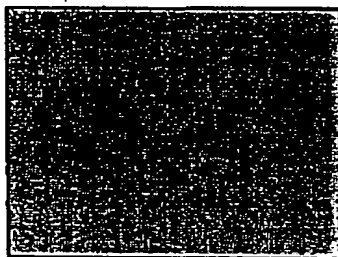
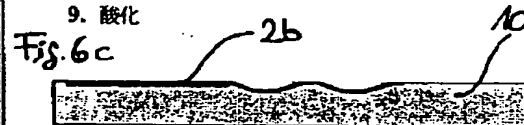
1. リングラフィー 1 (グレイトーン・リングラフィー)
2. ドライーエッチング



3. リングラフィー 2
4. インプランテーション 1 (電極)
5. アニール



6. リングラフィー 3
7. インプランテーション 1 (基板)
8. アニール
9. 酸化



10. SO/ウェハーの結合

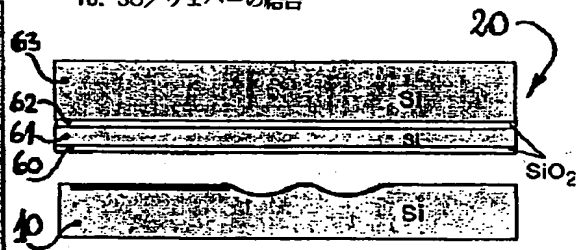
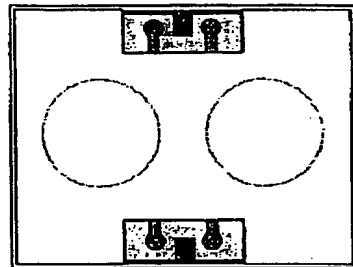
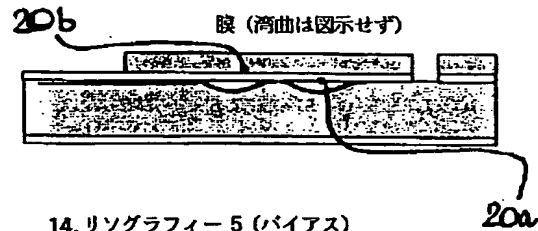


Fig.6e

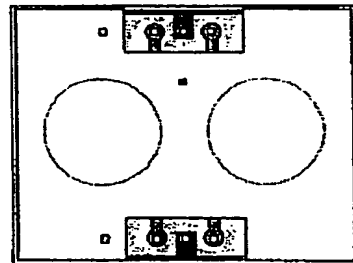


- 11. エッチバック
- 12. リソグラフィー 4
- 13. 膜エッチング



- 14. リソグラフィー 5 (バイアス)
- 15. ドライエッチング

Fig.6f



- 16. メッキ基板のスパッタリング
- 17. リソグラフィー 6 (メタリゼーション)
- 18. 電気メッキ
- 19. メッキ基板イオンミング

Fig.6g

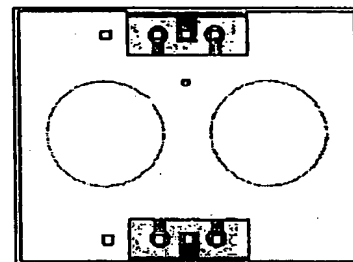
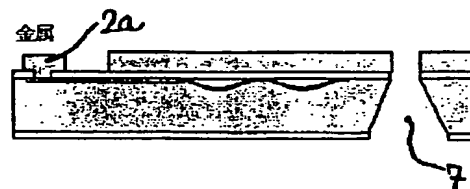


Fig.6h

- 20. リソグラフィー 7 (後側)
- 21. 後側パシベーションによるドライエッチング
- 22. シリコンの異方性エッチング



【図7】

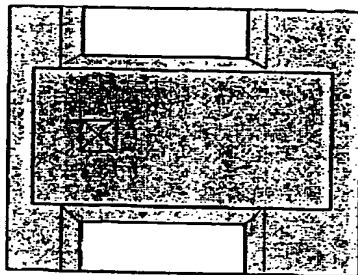
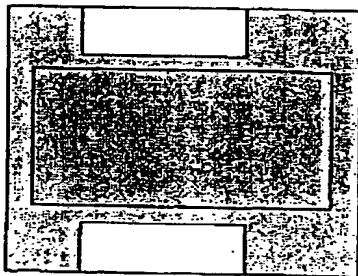
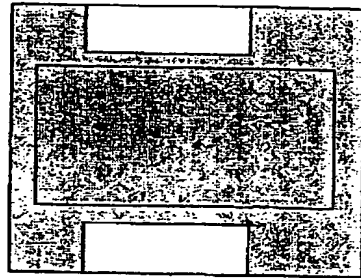


Fig. 7a

1. バイレックスガラスの施与
2. リソグラフィ 1 (前部の湾曲)
3. ガラス層のエッチング
4. シリコンのエッチング



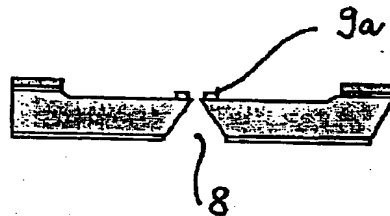
Fig. 7b

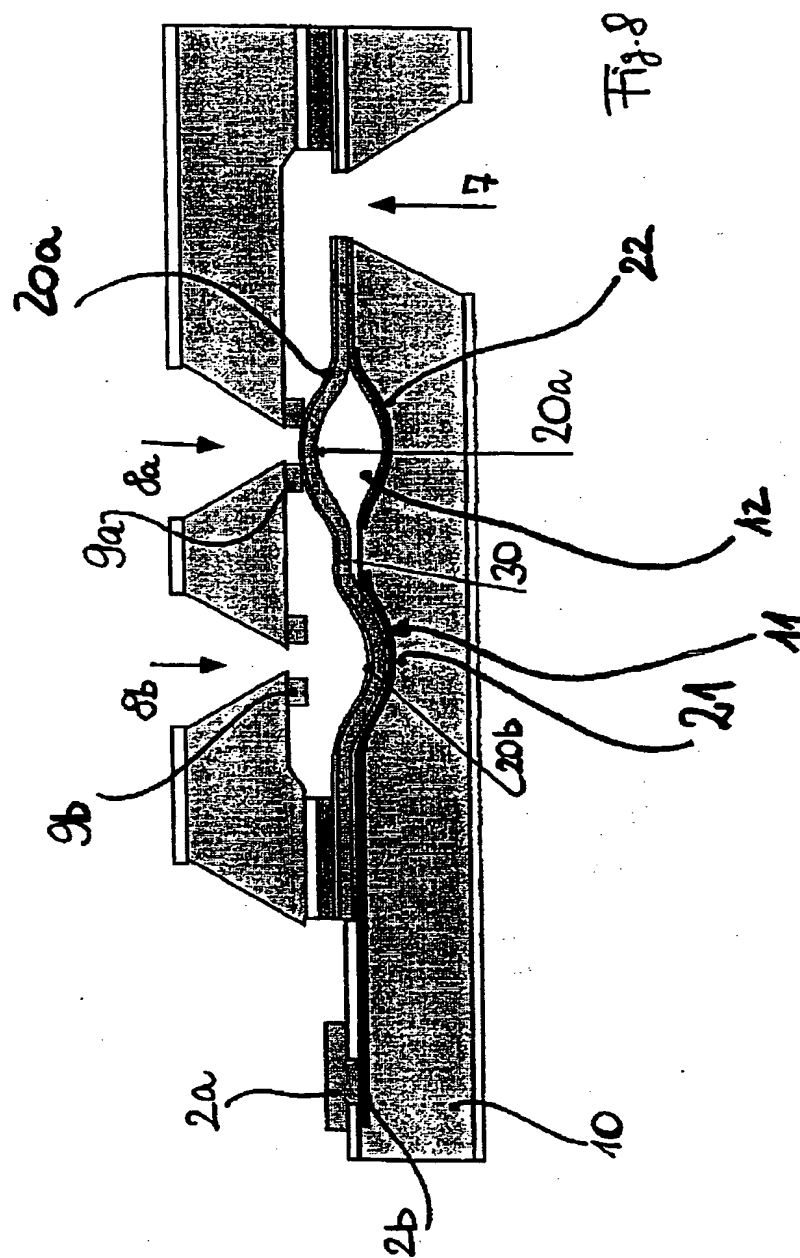
5. メッキ基板スパッタリング
6. リソグラフィ 2 (弁座)
7. 金の電気メッキ
8. メッキ基板の除去



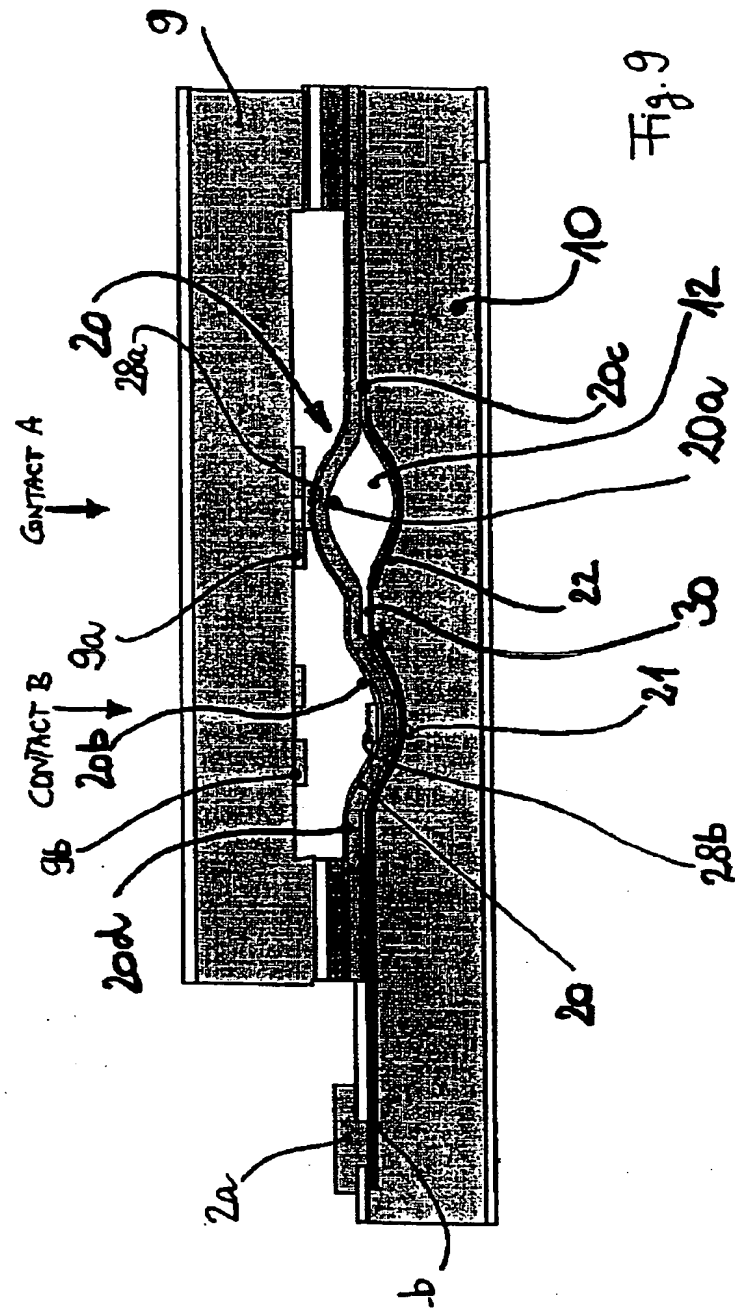
Fig. 7c

9. リソグラフィ 3 (後側)
10. 後側のドライエッチング
11. 異方性エッチング

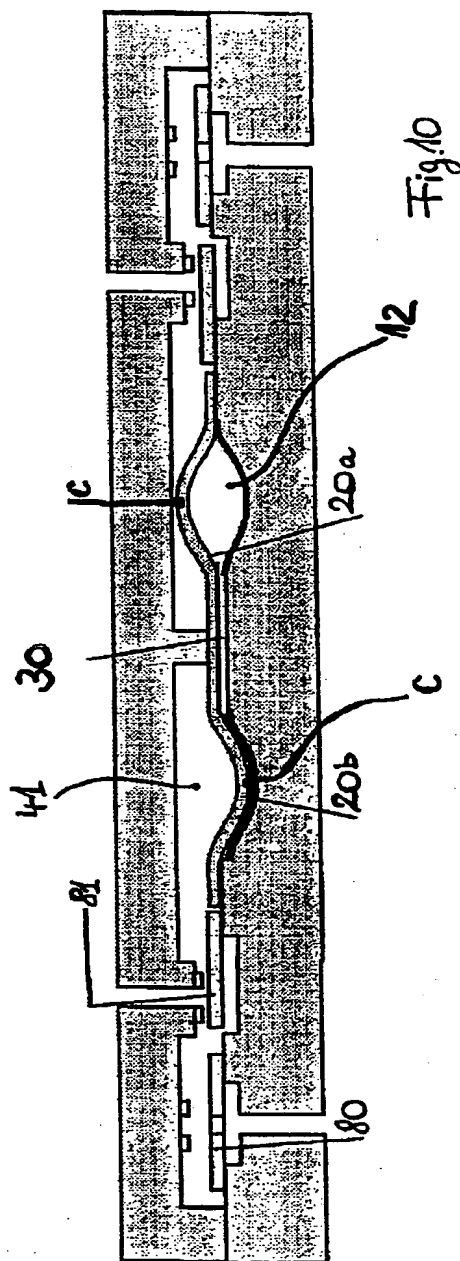




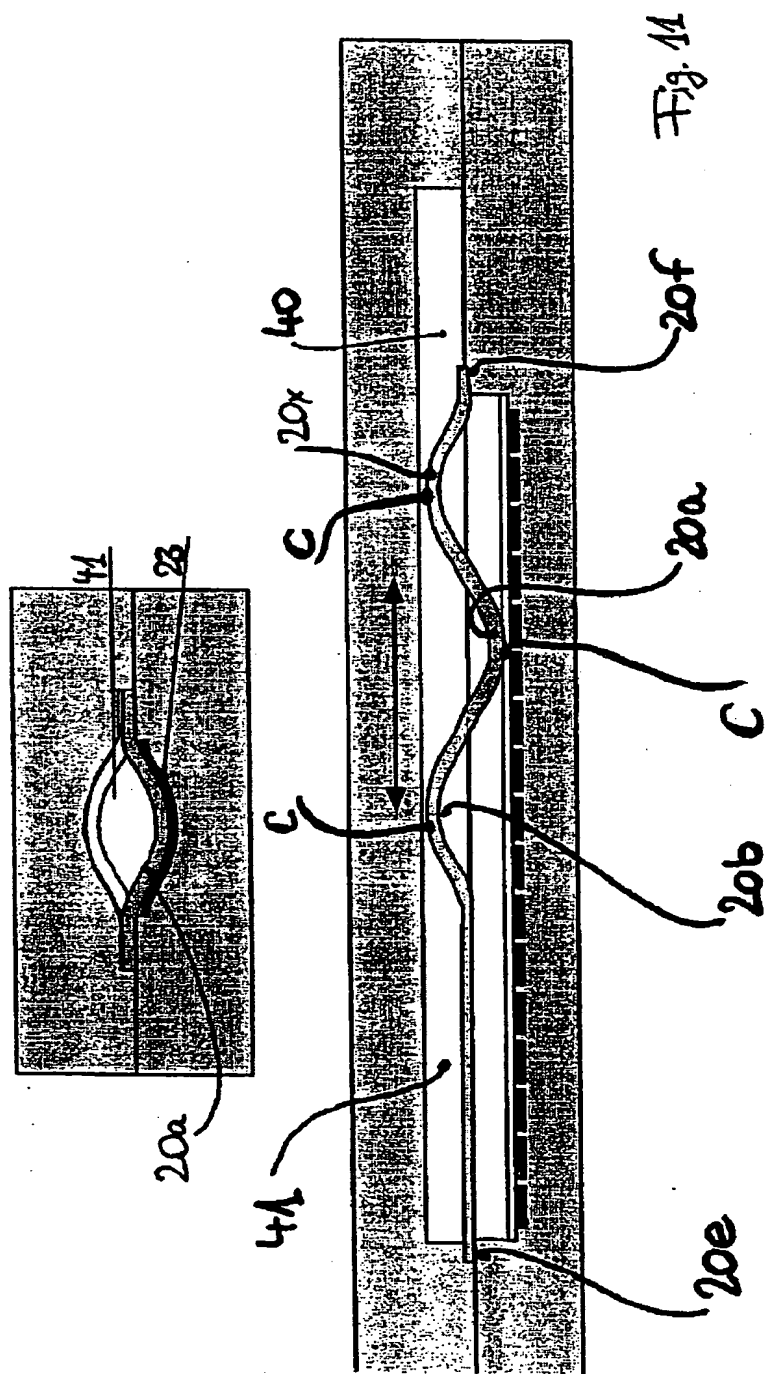
【図9】



【図10】



【図11】



【手続補正書】特許法第184条の8第1項

【提出日】平成10年2月10日（1998. 2. 10）

【補正内容】

請求の範囲

1. 対を成した湾曲膜部分（20a、20b、20x）と、該膜部分（20a、20b）と局部的に協同する基板電極（21、22、23）とを有し前記膜部分が前記電極を包含することにより連結されたキャビティが劃定されているマイクロバルブまたはマイクロポンプ用の静電膜アクチュエータであって、対を成す膜部分（20a、20b）がそれぞれ反対方向に湾曲し、前記膜部分上の少なくとも1層の効果として、2箇所の安定作動点の間で上下に湾曲させる固有圧縮応力を有することを特徴とする静電膜アクチュエータ。
2. 前記基板電極が湾曲し、前記キャビティ底部近傍に配置され、これにより膜部分に施された対応の反対電極に駆動力を与えるための静電駆動電極が形成されることを特徴とする請求項1に記載のアクチュエータ。
3. 2個の膜部分（20a、20b）が連結チャネルにより連結され、これにより電氣的に引きつけられていないアクチュエータの第二の膜部分を、静電氣的に引きつけられた第一の膜部分と反対の方向に動かすことを特徴とする、請求項1または2に記載のアクチュエータ。
4. 前記膜部分がそれぞれ金属層を有し、フリップフロップ方式による反作用により動作可能であることを特徴とする、請求項2または3に記載のアクチュエータ。
5. 基板（10）上で膜の湾曲部分（20a、20b）の外側の平坦部分（20c、20d）が引きつけられ、前記基板（10）が、前記膜（20）の湾曲部分（20a、20b）の形状に厳密に適合した2個以上のディンプルまたは浅いキャビティ（11、12）を有することを特徴とする、請求項2-4のいずれかに記載のアクチュエータ。
6. 前記基板（10）と協同する浅いディンプルまたはキャビティ（11、12）が、連結チャネル（30）により結合され、静電氣力により一方の膜部分（

12) が引きつけられると、流体が前記ディンプルまたはキャビティ (11、12) の一方から他方へ移動し、他方の膜部分 (20a) を他方のディンプルの外側に誘引することを特徴とする、請求項5に記載のアクチュエータ。

7. 前記キャビティが基板 (10) 内のチャネル (30) により連結され、一対の湾曲膜部分 (20a、20b) の間に位置する膜 (20) 部分により被覆されていることを特徴とする、請求項1-6のいずれかに記載のアクチュエータ。

8. 前記キャビティの底部に組み込まれ、その形状に厳密に適合された、各膜部分用の別々の電極を有することを特徴とする、請求項1-7のいずれかに記載のアクチュエータ。

9. 多数の対を成す膜部分が配列されることによりポンプラインが形成され、膜の各対における2箇所の隣接するディンプルが常に、圧縮空気により、または連結チャネル (30) として施された連結部を通過する流体により連結されていることを特徴とする、請求項1-8のいずれかに記載のアクチュエータ。

10. 電気伝導的な接点部分 (28a、28b) を、好ましくは一方または双方の湾曲膜部分 (20a、20b) の中央部分に有し、これがディンプルまたはキャビティ (11、12) の反対側に配置された電気伝導的弁座 (9a、9b) と協同するように成されていることを特徴とする、請求項1-9のいずれかに記載のアクチュエータ。

11. 第一の基板 (63) を有し、かつ応力を受けない平坦な担体が、一方面に絶縁体 (60) の薄膜を有して担体に固有応力を施し、

前記平坦担体が第二の基板 (10) に向かう下側で第二の基板 (10) と結合され、

固有応力付与絶縁層 (60) が膜部分 (20a、20b) の一方または双方を湾曲するまでに前記担体の少なくとも第一の基板 (63) が除去されることを特徴とする、少なくとも2箇所の対向して湾曲する膜部分 (20、20b) を有する、請求項1-10のいずれかのアクチュエータに用いられる膜 (20) の製造法。

12. トップダウン連結ウェーハの第一の基板の除去が、二層の半導体層 (

6 1、6 3) の間に中間層として形成される更なる絶縁層 (6 2) により停止され、この停止層 (6 2) を部分的に除去した後に、該層を金属蒸着し、前記第一の基板 (1 0) のディンプル (1 1、1 2) 中に埋設された第一の湾曲電極 (2 1、2 2) の反対側の膜中または膜上に第二の電極を形成することを特徴とする、請求項 1 1 に記載の方法。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat. Application No.
PCT/EP 97/00575

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC 6	H02N1/00	F04B43/04 F15C5/00 H01H59/00
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
IPC 6 H02N F04B F15C H01H		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 41 19 955 A (DANFOSS AS) 24 December 1992 see page 5, line 37 - page 6, line 21; figure 4	1-15
A	--- PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS, TRAVERUNDE, FEB. 4 - 7, 1992, no. WORKSHOP 5, 4 February 1992, BENECKE W; PETZOLD H -C, pages 6-11, XP000344118 BRANEBJERG J ET AL: "A NEW ELECTROSTATIC ACTUATOR PROVIDING IMPROVED STROKE LENGTH AND FORCE" cited in the application see page 9, right-hand column, paragraph 6 - page 10, right-hand column, paragraph 2; figures 7C,9 ---	1-15
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "A" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
5 June 1997		13.06.97
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 210 Patenzsaa 2 NL - 2220 HV Rijswijk Tél. (+31-70) 340-3000, Tlx. 31 651 qpe nl, Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer Zanichelli, F

Form PCT/ISA/210 (page sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/EP 97/08575

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 412 270 A (IBM) 13 February 1991 see abstract; figure 1 ---	1
A	EP 0 259 614 A (LANDIS & GYR AG) 16 March 1988 see abstract; figure 1 ---	2
A	PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS, TRAVENHÜDE, FEB. 4 - 7, 1992, no. WORKSHOP 5, 4 February 1992, BENECKE W; PETZOLD H -C, pages 128-132, XP000344138 GABRIEL K J ET AL: "SURFACE-NORMAL ELECTROSTATIC/PNEUMATIC ACTUATOR" cited in the application see the whole document ---	1-3
A	US 5 096 388 A (WEINBERG MARC S) 17 March 1992 see claim 1; figure 9 -----	

Form PCT/ISA/210 (continuation of annex 440) (July 1993)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No
PCT/EP 97/00575

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4119955 A	24-12-92	AU 1985392 A WO 9222763 A EP 0592469 A US 5452878 A	12-01-93 23-12-92 20-04-94 26-09-95
EP 0412270 A	13-02-91	DE 3926066 A DE 69003770 D DE 69003770 T JP 3070884 A US 5078581 A	14-02-91 11-11-93 05-05-94 26-03-91 07-01-92
EP 0259614 A	16-03-88	CH 670914 A DE 3776237 A JP 63073554 A US 4979149 A	14-07-89 05-03-92 04-04-88 18-12-90
US 5096388 A	17-03-92	NONE	

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 L 41/22		H 0 2 N 1/00	
H 0 2 N 1/00		H 0 1 L 41/22	Z
(31) 優先権主張番号	1 9 6 3 7 9 2 8 . 8		
(32) 優先日	平成 8 年 9 月 17 日 (1996. 9. 17)		
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		
(81) 指定国	EP (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, L U, MC, NL, PT, SE), DE, JP, US		